



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 37 257 A 1

⑳ Aktenzeichen: 195 37 257.3  
㉑ Anmeldetag: 6. 10. 95  
㉒ Offenlegungstag: 18. 4. 96

⑮ Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G 01 B 5/20  
G 01 B 5/28  
G 01 P 3/00  
G 01 M 17/08  
B 60 G 17/00  
B 60 K 31/00  
// G 01 C 21/04

DE 195 37 257 A 1

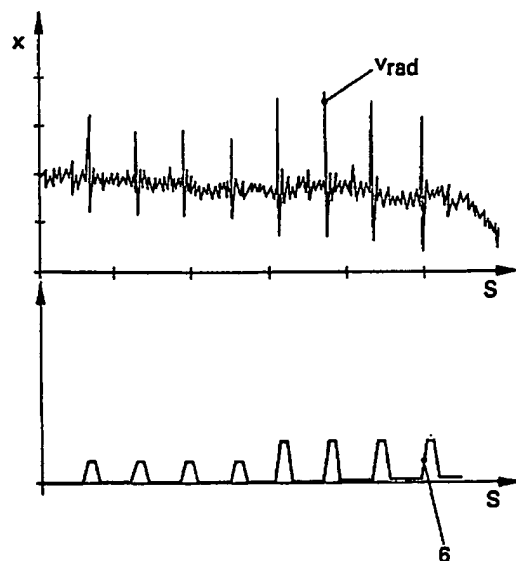
⑶ Innere Priorität: ⑳ ㉑ ㉒  
14.10.94 DE 44 38 755.4

㉓ Anmelder:  
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

㉔ Erfinder:  
Hamberger, Werner, Dipl.-Ing., 38444 Wolfsburg,  
DE; Osenroth, Matthias, Dipl.-Ing., 29378 Wittingen,  
DE

⑤A Verfahren zur Ermittlung des physikalischen Profils einer Fahrbahnoberfläche

⑤B Zur Ermittlung des physikalischen Profils einer Fahrbahnoberfläche während der Bewegung eines Kraftfahrzeuges, das mit mindestens einem Radsensor zur Erfassung von Radbewegungsparametern ausgestattet ist, werden erfindungsgemäß die Amplitudenschwankungen der Radbewegungsparameter, insbesondere der Radumdrehungsgeschwindigkeit ( $v_{\text{rad}}$ ), als Maß für das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) ausgewertet. Das einen im Fahrzeug für die Antiblockierregelung vorhandenen Sensor nutzende Verfahren liefert eine konkrete Aussage über das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6), die in Echtzeit für eine Geschwindigkeitsregelung oder eine Fahrwerksadaptation oder für die Vorausschau in einem Navigationsgerät verwendet werden kann (Figur 3).



DE 195 37 257 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des physikalischen Profils einer Fahrbahnoberfläche, bei dem mindestens einem Rad des Kraftfahrzeuges ein Radsensor zur Erfassung der Radumdrehungsgeschwindigkeit zugeordnet ist.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zum Bestimmen der Rauigkeit bzw. dem Oberflächenprofil einer befahrenen Straße bekannt. So wird in der europäischen Patentanmeldung EP 556 070 A2 ein linearer Wegsensor zwischen einem Rad und dem Fahrzeugaufbau zur Messung der Relativbewegung beider Massen zueinander angeordnet. Die Frequenzanalyse des Sensorausgangssignals ergibt über einen Vergleich mit gespeicherten Werten verschiedener Straßenoberflächentypen eine Aussage über den Zustand der befahrenen Strecke. Bei diesem Verfahren hat durch die Anordnung des verwendeten Sensors die Bewegung der relativ großen Aufbaumasse und damit ihr Trägheitsmoment einen Einfluß auf das Meßergebnis, was zu Fehleinschätzungen führen kann.

Ein Verfahren zur frühzeitigen Erfassung von unerwartet auftretenden gefährlichen Fahrbahnverhältnissen, wie Aquaplaning, überfrierende Nässe oder Glätte, ist in der Deutschen Patentschrift DE 43 29 745 C1 beschrieben, bei dem der Kraftschluß zwischen Fahrbahn und Reifen der angetriebenen Räder fortlaufend überwacht wird, indem der Radschlupf sowie die gleichzeitige Radumfangskraft der überwachten Räder während stationärer und quasistationärer Fahrbetriebszustände in stetiger Folge ermittelt wird und die Radumfangkraft/Radschlupf-Wertepaare gespeichert werden. Wenn eine vorgegebene Anzahl solcher Wertepaare mit unterschiedlich großen Radumfangskraftwerten abgespeichert ist, wird eine im Radumfangkraft/Radschlupf-Kennlinienfeld jeweils mittelnd durch diese Wertepaare verlaufende Regressionskurve erzeugt und mit einer abgespeicherten Grenzkurve verglichen. Ein Warnsignal wird ausgelöst, wenn die Steigung der Regressionskurve kleiner oder gleich der Steigung der abgespeicherten Grenzkurve ist. Die Grenzkurve ist dabei in Abhängigkeit einer erfaßten Fahrbahnbeschaffenheit veränderbar. Die Information über die Ebenheit oder die Unebenheit der Fahrbahn wird aus den sinusförmigen Rohsignalen der Raddrehzahlsensoren gewonnen, indem diese einer geeigneten Frequenzanalyse, beispielsweise einer Fourier-Analyse zugeführt, und über eine Tiefpaßanordnung zur Eliminierung von auftretenden Sensortoleranzen geführt werden. Das beschriebene, für die Ermittlung des Straßenprofils vorgesehene Verfahren ist einerseits nur sehr aufwendig realisierbar und andererseits kann das auf einer Frequenzanalyse der Radumdrehungsfrequenz basierende Verfahren nur hochfrequente Straßenanregungen erkennen. Außerdem ist eine Zuordnung der auftretenden Frequenzen zu einem bestimmten Fahrbahnprofil nur sehr schwer möglich, da neben den Frequenzen, die aus den Fahrbahnunebenheiten resultieren, auch Eigenfrequenzen des Systems selbst, die beispielsweise durch Toleranzen in der Fahrwerkabstimmung auftreten, enthalten sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren anzugeben, das mit bereits vorhandener Sensorik im Kraftfahrzeug die Möglichkeit eröffnet, eine konkrete Aussage über das physikalische Profil einer Fahrbahnoberfläche während der Bewegung des Kraftfahrzeuges zu erhalten.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentan-

spruchs gelöst, vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen dargestellt.

Erfindungsgemäß werden die Amplitudenschwankungen der über mindestens einen Raddrehzahlsensor, wie sie bei Antiblockierregleinrichtungen Verwendung finden, ermittelten Radbewegungsparameter, insbesondere der Radumdrehungsgeschwindigkeiten als Maß für das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche ausgewertet. Dazu werden vorzugsweise die Radumdrehungsgeschwindigkeiten der nicht angetriebenen Räder verwendet, da bei den angetriebenen Rädern der Einfluß des Antriebsmomentes eliminiert werden muß. Eine andere Möglichkeit sieht vor, die Differenz der Radumdrehungsgeschwindigkeiten zwischen der Vorder- und der Hinterachse mindestens einer Fahrzeugseite auszuwerten, wodurch mit einem niederfrequenten Abtastverfahren bei der Messung der Radumdrehungsgeschwindigkeit gearbeitet werden kann.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung wird die ermittelte Radumdrehungsgeschwindigkeit einer Hochpaßfilterung unterzogen, um eine größere Signalstärke der Radumdrehungsgeschwindigkeitsschwankungen aufgrund der auftretenden Fahrbahnunebenheiten zu erreichen und die Signalantelle, die durch einen externen Eingriff zu Geschwindigkeitsänderungen führen, eliminieren zu können. Aus dem gefilterten Frequenzsignal wird darauffolgend der statistische Varianzverlauf als Maß für das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche ermittelt.

Vorteilhafterweise werden die einzelnen Varianzen des Varianzverlaufes mit einem fahrgeschwindigkeitsabhängigen Kennfeld zur Bestimmung des physikalischen Profils der Fahrbahnoberfläche verglichen, wobei nach einer Weiterbildung der Wertebereich, den die Varianzen annehmen können, in ein Fahrbahnprofil bestimmende Klassen eingeteilt wird. Diese Klassen können für eine zukünftige Nutzung abgespeichert und einem übergeordneten Navigationssystem neben anderen Straßenattributen, wie der Straßenkrümmung oder -neigung, übergeben werden und bei einer wiederholten Fahrt derselben Strecke für eine Vorausschau auf den Fahrbahnzustand genutzt werden. Der Fahrer erhält damit die Möglichkeit, aufgrund der ihm vorliegenden Kenntnis der Fahrbahngüte entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Die Anzeige des Fahrbahnprofils für den Fahrzeugführer könnte außerdem auch während der laufenden Erfassung erfolgen.

Eine wellere mögliche Anwendung der Information des Fahrbahnprofils ist eine automatische Geschwindigkeitsregelung, der abhängig davon eine adaptive Sollgeschwindigkeit vorgegeben wird. Aufgrund der Kenntnis über das Fahrbahnprofil kann auch eine Fahrwerksadaptation vorgenommen werden.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher beschrieben. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine Anordnung eines Radsensors an einem Rad der Hinterachse,

Fig. 2 der Verlauf der Radumdrehungsgeschwindigkeit beim Durchfahren eines Schlaglochs,

Fig. 3 der Verlauf der Radumdrehungsgeschwindigkeit beim Überfahren mehrerer Schlagleisten

Fig. 4 der Verlauf des hochpaßgefilterten Radgeschwindigkeitsverlaufes, aufgrund einer überfahrenen Schlagleiste,

Fig. 5 ein Varianzverlauf in Abhängigkeit einer hochpaßgefilterten Radumdrehungsgeschwindigkeit und

Fig. 6 ein geschwindigkeitsabhängiges Kennfeld.

Als Radsensoren 2 werden im Ausführungsbeispiel induktive Meßwertaufnehmer 4 verwendet, welche auf einer Radachse 1 festmontiert sind. Die Lage des induktiven Meßwertaufnehmers 4 an der Vorderachse eines Kraftfahrzeuges ist in Fig. 1 gezeigt. Er besteht aus einer Spule mit einem innen liegenden Magnetkern. Auf Seiten des Rades 3 befindet sich ein Korbrad 4 mit einer Anzahl von Metallzähnen, welche sich bei der Drehung des Rades 3 an dem induktiven Meßwertaufnehmer 4 vorbei bewegt. Dabei wird durch den sich ändernden magnetischen Fluß in der Spule des Meßwertaufnehmers 4 eine Spannung induziert, die sich mit der Radumdrehungsgeschwindigkeit  $v_{rad}$  ändert. Der Verlauf der Radumdrehungsgeschwindigkeit bei einem Schlagloch 5 in der Fahrbahn 6 ist in Fig. 2 dargestellt, die umliegende Fahrbahn 6 weist eine ebene und glatte Oberfläche auf. Der Geschwindigkeitsverlauf  $v_{rad}$  zeigt beim Durchfahren des Schlagloches hochfrequente Schwingungen mit einer hohen Amplitude.

Ein Verlauf der Radumdrehungsgeschwindigkeit  $v_{rad}$  beim Überfahren von mehreren Schlagleisten 7a, 7b auf der Fahrbahn 6 zeigt Fig. 3, wobei jeweils 4 Schlagleisten hintereinander angeordnet sind. Die Radumdrehungsgeschwindigkeit  $v_{rad}$  zeigt beim Überfahren der höheren Schlagleisten 7b eine deutlich höhere Amplitude.

Um eine größere Signalstärke der Radumdrehungsgeschwindigkeitsschwankungen aufgrund von Fahrbahnunebenheiten zu erreichen, wird das Sensorsignal hochpaßgefiltert. Des weiteren sollen die Signalanteile, die durch einen externen Eingriff zu Geschwindigkeitsänderungen führen, herausgefiltert werden. Ein externer Eingriff erfolgt beispielsweise durch den Fahrer, der ggf. das Fahrzeug beschleunigt oder abbremst. Der Fall beim Ansprechen der Antiblockierregelung (ABS) wird nicht berücksichtigt, da in diesem Fall durch die erzwungenen Drehschwingungen des Rades eine Bestimmung des physikalischen Profils der Fahrbahnoberfläche fehlerhaft wäre. Ohnehin tritt dieser Fall nur recht selten auf. Die Hochpaßfilterung erfolgt nach einem sehr einfachen Algorithmus. Dabei wird zuerst der Mittelwert über die drei zuletzt gemessenen Werte gebildet. Dieser Mittelwert wird dann von dem einen Abtastschritt zurückliegenden Wert subtrahiert. Der Vorteil eines solchen Filters besteht darin, daß es ein nichtrekursiver Filter mit endlicher Impulsantwort ist. Aus diesem Grund wirken sich kurzzeitige starke Störungen auch nur über den kurzen Zeitraum der Zeitverschiebungen des Filters aus und klingen nicht wie bei einem rekursiven Filter über lange Zeit ab. In dem Signalverlauf der hochpaßgefilterten Radumdrehungsgeschwindigkeit  $v_{fht}$  lassen sich die Geschwindigkeitsschwankungen, welche durch Fahrbahnunebenheiten hervorgerufen werden, sehr leicht ablesen. So ist beim Überfahren einer einzelnen Schlagleiste ein hoher Ausschlag des hochpaßgefilterten Geschwindigkeitssignals  $v_{fht}$  aufgrund einer Schlagleiste 7 erkennbar (Fig. 4).

Im Ausführungsbeispiel werden die Radumdrehungsgeschwindigkeitsschwankungen statistisch über eine Varianzermittlung ausgewertet. Der Varianzverlauf  $\sigma^2$  wird aus der Differenz des quadratischen Mittelwertes und dem Mittelwert der Quadrate der einzelnen Meßdaten ermittelt. Sie stellt den quadratischen Mittelwert des Wechselanteils der Amplitude  $x$  dar und ist ein quadratisches Maß für die Streuung der Amplitude  $x$  um ihren Mittelwert  $\bar{x}$ . Ein spezifischer Varianzverlauf  $\sigma^2$  in Abhängigkeit eines hochpaßgefilterten Radumdrehungsgeschwindigkeitsverlaufes  $v_{fht}$  ist in Fig. 5 darge-

stellt.

Für die Auswertung der Varianzen  $\sigma^2$  wird der Wertebereich, den die ermittelten Varianzen annehmen können in Profilklassen  $k$  eingeteilt. Im Ausführungsbeispiel wurden 10 Profilklassen  $k_0$ — $k_9$  gewählt. Diese Klasseneinteilung wird so vorgenommen, daß die einzelnen Klassengrenzen in logarithmischer Darstellung der Varianz  $\sigma^2$  über der linearen Skalierung der Fahrgeschwindigkeit  $v$  eine Gerade ergeben. Das sich ergebende Kennfeld ist in Fig. 6 abgebildet. Unterhalb der ersten Linie befindet sich die Klasse  $k_0$  und darüberliegend dann die weiteren Klassen bis zur Klasse  $k_9$ , die sich oberhalb der letzten Linie befindet. Um die Profilklassen wird jeweils ein Hysteresebereich angelegt, über den die aktuell ermittelte Varianzen hinaus gehen müssen, um die nächste Klasse zu aktivieren. Diese Maßnahmen dient zur Stabilisierung der Klasseneinteilung, der sonst bei Meßwerten, die sich mit ihrer Varianz in der Nähe eines Klassenrandes bewegen, ein ständiges Hin- und Herwechseln zwischen den angrenzenden Klassen erfolgen würde. Die Hysterese Grenze liegt jeweils genau in der Mitte zwischen zwei angrenzenden Klassen. Nach der Ermittlung neuer Varianzwerte wird zunächst die Änderung der Varianz  $\sigma^2$  ermittelt. Liegt eine positive Änderung der Varianz vor, wird der aktuelle Varianzwert mit der Hysterese Grenze der nächst höheren Klasse verglichen. Ist der Varianzwert größer als diese Grenze, so wird der Klassenwert inkrementiert. Bei einer negativen Änderung der Varianz  $\sigma^2$  wird ein Vergleich mit der nächst tieferen Hysterese Grenze ausgeführt und bei einem positiven Ergebnis der Klassenwert dekrementiert. Die Werte der Hysterese Grenzen werden laufend abhängig von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  neu ermittelt. Das aktuell vorliegende physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche wird als Klasse  $k_0$ — $k_9$  abgespeichert und kann für eine spätere Wellerverarbeitung verwendet werden.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Radachse
- 2 Radsensor
- 3 Rad
- 5 Schlagloch
- 6 Fahrbahn
- 7a, 7b Schlagleisten
- $v_{rad}$  Radumdrehungsgeschwindigkeit
- $v_{fht}$  hochpaßgefilterte Radumdrehungsgeschwindigkeit
- $\sigma^2$  & Varianzverlauf
- $k_0$ — $k_9$  Profilkasse

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des physikalischen Profils einer Fahrbahnoberfläche während der Bewegung eines Kraftfahrzeuges auf dieser Fahrbahnoberfläche, bei dem mindestens einem Rad des Kraftfahrzeuges ein Radsensor zur Erfassung von Radbewegungsparametern zugeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß Amplitudenschwankungen der Radbewegungsparameter, insbesondere der Radumdrehungsgeschwindigkeit ( $v_{rad}$ ) als Maß für das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) ausgewertet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Radumdrehungsgeschwindigkeit ( $v_{rad}$ ) mindestens eines der nicht angetriebenen Räder (3) gemessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz der Radumdrehungsgeschwindigkeiten ( $v_{rad}$ ) zwischen der Vorder- und der Hinterachse mindestens einer Fahrzeugseite ausgewertet wird. 5
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Radumdrehungsgeschwindigkeit ( $v_{rad}$ ) einer Hochpaßfilterung unterzogen und aus dem gefilterten Frequenzsignal ( $v_{filt}$ ) der Varianzverlauf ( $\sigma^2$ ) als Maß für das vertikale Profil der Fahrbahnoberfläche (6) ermittelt wird. 10
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Varianzen des Varianzverlaufs ( $\sigma^2$ ) mit einem abgespeicherten, fahrgeschwindigkeitsabhängigen Kennfeld zur Bestimmung des physikalischen Profils der Fahrbahnoberfläche (6) verglichen werden. 15
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Wertebereich, den die einzelnen Varianzen ( $\sigma^2$ ) annehmen können, in ein bestimmtes physikalisches Profil der Fahrbahnoberfläche (6) kennzeichnende Klassen ( $k_0$ — $k_9$ ) eingeteilt wird. 20
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das ermittelte physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) als Profilklasse ( $k_0$ — $k_9$ ) angezeigt wird. 25
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das ermittelte momentane physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) einer automatischen Geschwindigkeitsregelung des Kraftfahrzeuges zugeführt wird. 30
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) abgespeichert und einem Navigationssystem zur Verfügung gestellt wird. 35
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das aktuelle physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) einer Fahrwerksregelung zugeführt wird. 40

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

45

50

55

60

65

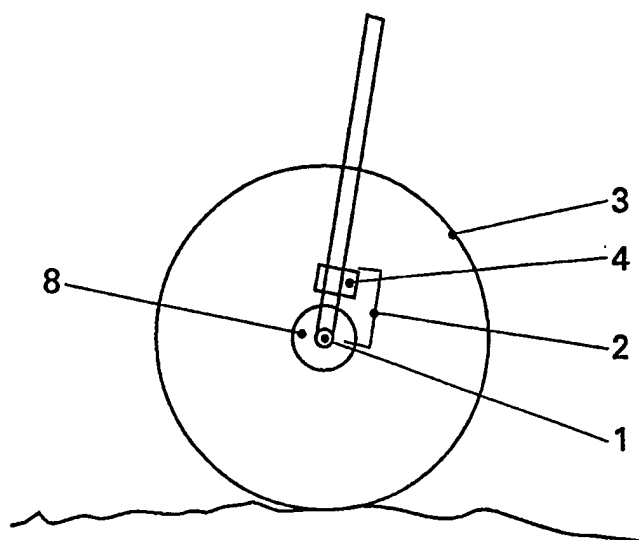


FIG 1

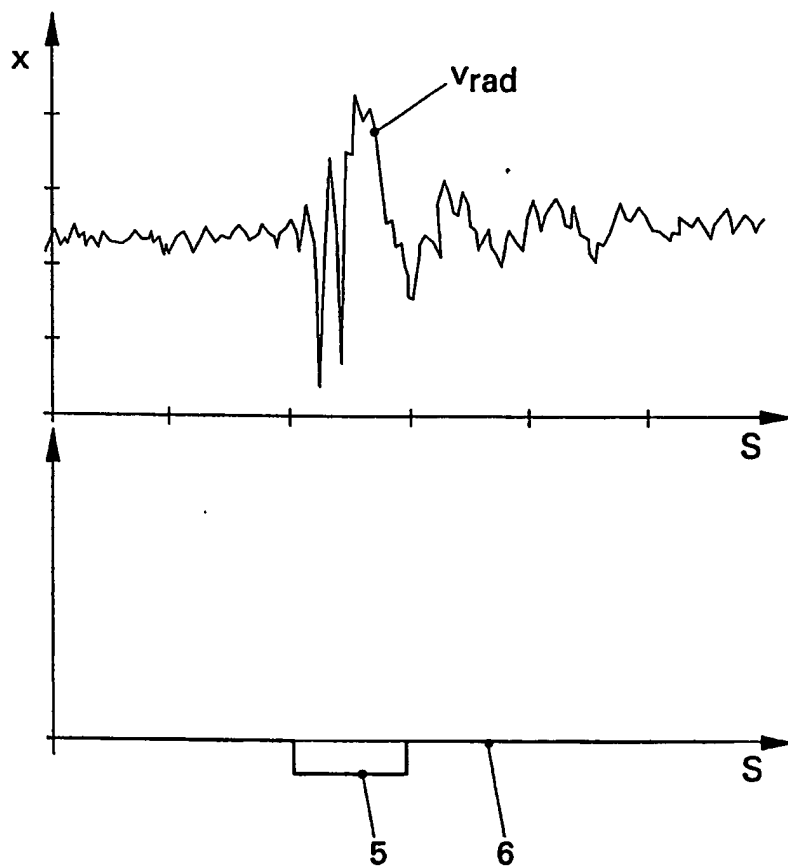


FIG 2

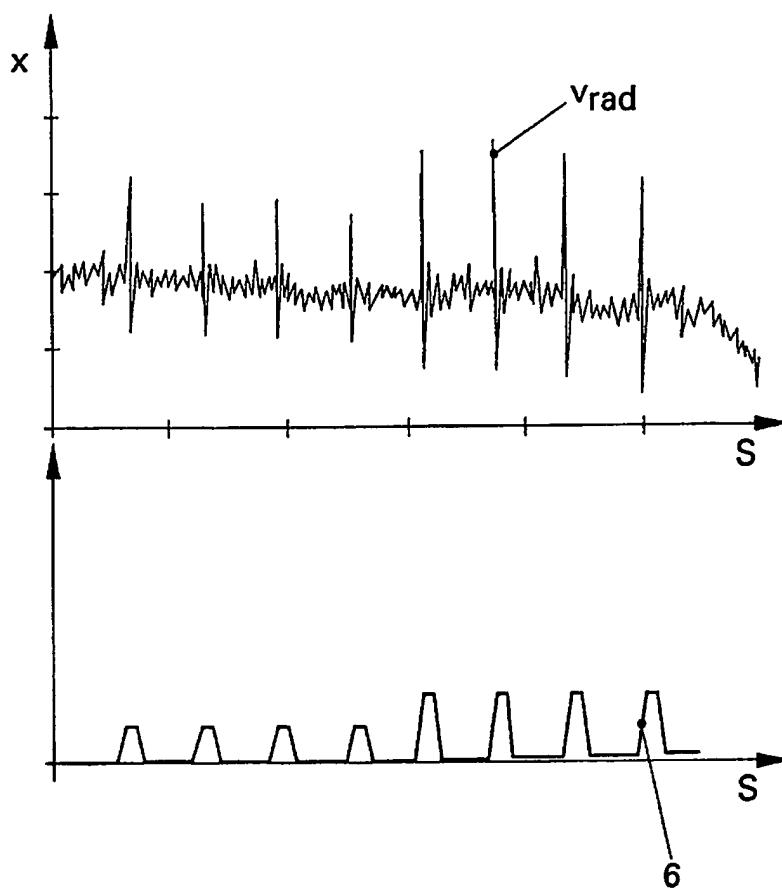


FIG 3

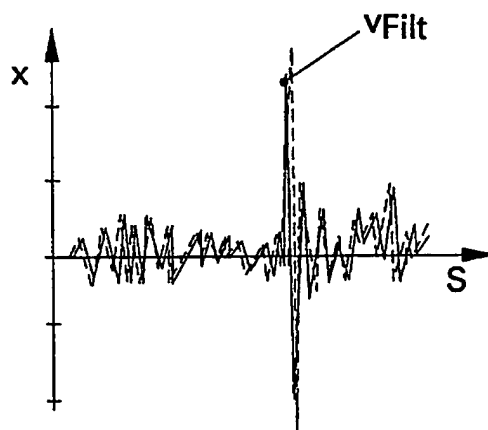


FIG 4

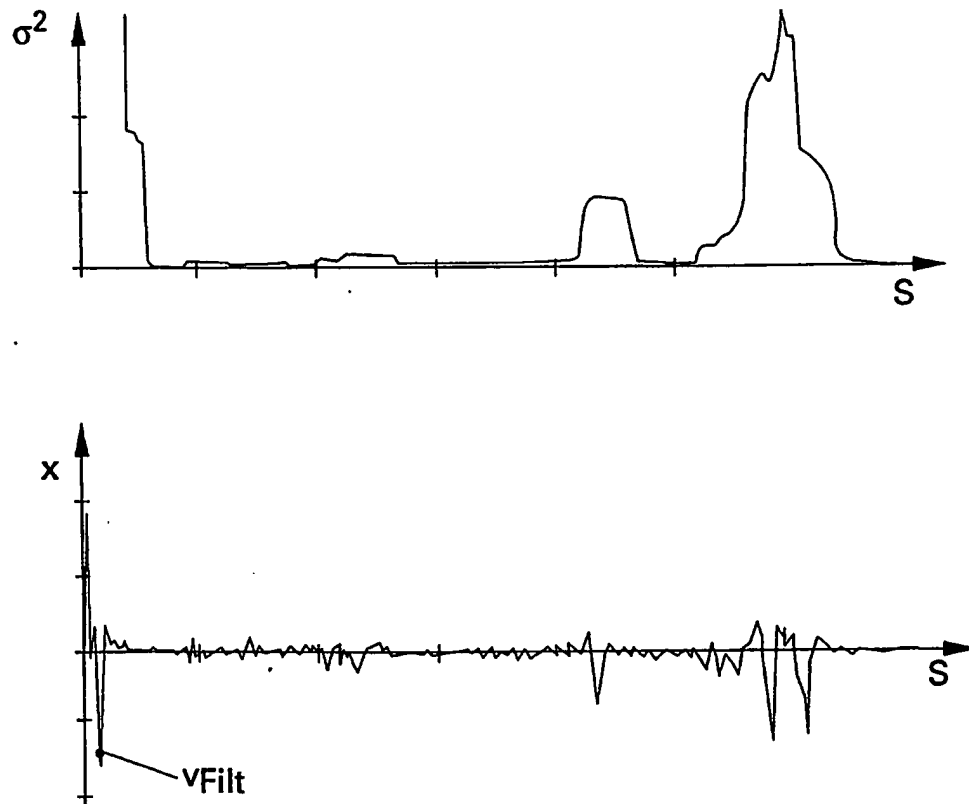


FIG 5

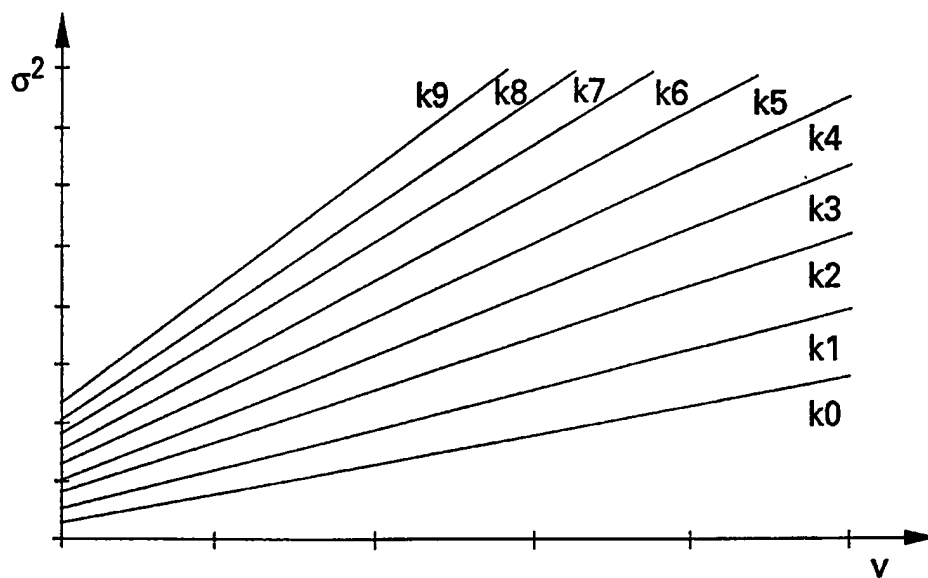


FIG 6

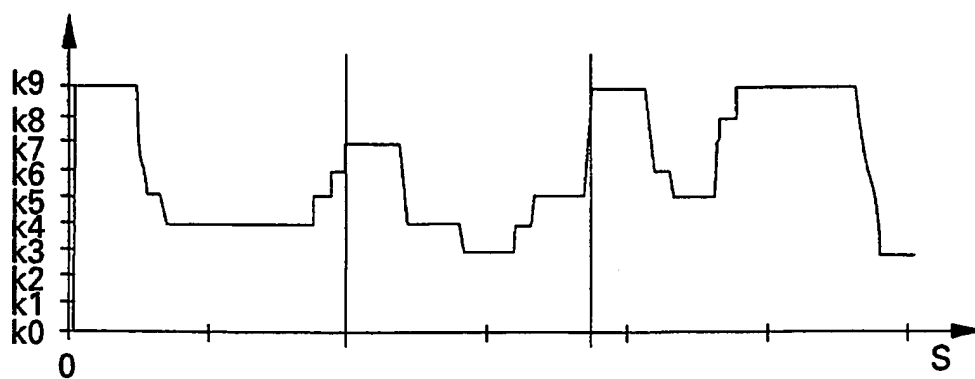


FIG 7



(19) **FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY** (12) **Published Patent Application** (51) Int. Cl.<sup>8</sup> :  
**G 01 B 5/20**

(10) **DE 195 37 257 A 1**

(21) File Number: 195 37 257.3  
(22) Application Date: October 6, 1995  
(43) Publication Date: April 18, 1996

G 01 B 5/28  
G 01 P 3/00  
G 01 M 17/06  
B 60 G 17/00  
B 60 K 31/00  
// G01C 21/04

**GERMAN  
PATENT OFFICE**

**DE195 37 257 A1**

(30) Domestic Priority: (30) (33) (31)  
October 14, 1994 DE 44 36 755.4

(71) Applicant:  
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, Germany

(72) Inventor:  
Hamberger, Werner, Degreed Engineer, 38444 Wolfsburg,  
Germany; Osenroth, Matthias, Degreed Engineer, 29378 Wittingen,  
Germany

---

(54) **Method For The Detection Of The Physical Profile Of A Roadway Surface**

(57) To detect the physical profile of a roadway surface during the movement of a motor vehicle, which is equipped with at least one wheel sensor to record the parameters of wheel movement, the amplitude variations of the parameters of wheel movement, particularly the rotation speed of the wheel ( $v_{rad}$ ), are according to the invention analyzed as the measurement for the physical profile of the roadway surface (6). The method, which utilizes a sensor for the anti-blocking control unit in the car, provides precise information about the physical profile of the roadway surface (6) that can be used in real-time for a speed control or a chassis adaption or for the foresight in a navigation device (figure 3).

**DE195 37 257 A1**

The following information was obtained from the documents submitted by the applicant

## Description

The invention relates to a method for the detection of the physical profile of a roadway surface where at least one wheel of the motor vehicle comprises a wheel sensor to record the rotation speed of the wheel.

Several methods to determine the roughness, or the surface profile, of a road are already known from the prior art. The European patent application EP 556 070 A2 comprises a linear position sensor arranged between a wheel and the motor vehicle body to measure the relative movement of both masses to each other. The frequency analysis from the sensor output signal results in information about the condition of the road by comparing stored data of different types of road surfaces. Due to the arrangement of the sensor used therein, the motion of the relatively big size of the body and thus its moment of inertia affects the measurement result in this method which may lead to a false estimation.

A method to record unexpected dangerous roadway conditions, such as aquaplaning, freezing rain or black ice, early on is described in the German patent specification DE 43 29 745 C1, wherein the frictional connection between the roadway and the tires of the driven wheels is continuously monitored by constantly detecting the wheel slip as well as the simultaneous wheel peripheral force of the monitored wheels during stationary and quasi-stationary vehicle operation conditions and by storing the wheel peripheral force/wheel slip-value pairs. When a predetermined number of such value pairs with different wheel peripheral force values have been stored, a regression curve, which fits between the value pairs in the wheel peripheral force/wheel slip- curve family, is created and compared to a stored limiting curve. A warning signal is being set off when the gradient of the regression curve is smaller than or equal to the gradient of the stored limiting curve. The limiting curve is thereby changeable depending on a recorded roadway condition. The information about the evenness or unevenness of the roadway is obtained from the sinus-shaped raw signals of the wheel speed sensors by feeding them to a suitable frequency analysis, such as a Fourier analysis, and leading them to the elimination of occurring sensor tolerances via a low-pass arrangement. On one hand it is very complex to realize the described method for the detection of the road profile and on the other hand is the method, which is based on a frequency analysis of the rotation frequency of the wheel, only able to recognize road irregularities with a high frequency. It is also very difficult to assign the occurring frequencies to a specific roadway profile since they not only contain frequencies resulting from any unevenness of the roadway but also frequencies from the system itself that occur through tolerances in the chassis adjustment for instance.

The object of the invention is to provide a method that offers the opportunity to obtain precise information about the physical profile of a roadway surface during the motion of the motor vehicle by using the already existing sensor system in the motor vehicle.

This object is solved by the features of the patent claim; advantageous further embodiments are presented in the dependent claims.

According to the invention, the amplitude variations of the parameters of wheel movement, particularly of the rotation speeds of the wheel, that were detected by at least one wheel speed sensor as the type being used in anti-blocking control devices, are being analyzed as a measurement for the physical profile of the roadway surface. The wheel rotation speeds of the non-driven wheels are preferably used for that purpose since the influence of the drive torque must be eliminated for the driven wheels. Another possibility allows for analyzing the difference of the rotation speeds of the wheel between the front axle and the rear axle of at least one side of the motor vehicle. This allows the operation of a lower-frequency sampling method for the measurement of the rotation speed of the wheel.

According to a further embodiment of the invention, the detected rotation speed of the wheel is subject to a high-pass filtering to achieve greater signal strength of the variations in the rotation speed of the wheel due to occurring unevenness of the roadway and to eliminate the part signals, which cause changes in speed via an external intervention. The statistical progression of variance is then detected from the filtered frequency signal as a measurement for the physical profile of the roadway surface.

Advantageously, the individual variances of the progression of variance are compared to a characteristic diagram, which depends on the driving speed, to determine the physical profile of the roadway surface, whereby the range of values that the variances may reach is, according to a further embodiment, distributed into classes that determine a profile of a roadway. These classes can be stored for a future use and can be presented to a higher-level navigation system among other road attributes, such as the curve in a road or a road slope, and can be used as a foresight of the roadway condition if traveling the same route again. The driver is thus given the opportunity to take appropriate measures with the help of the information on hand about the roadway quality. The display about the road quality may also be made available for the driver while it is being detected.

Another possible utilization for the roadway profile information is an automatic speed control with a preset nominal speed dependent thereof. By virtue of the information about the profile of the roadway, a chassis adaption may be conducted.

Hereinafter, the invention shall be described in more detail with several exemplary embodiments. The associated figures show:

Fig. 1 an arrangement of a wheel sensor on a wheel at the rear axle,

Fig. 2 the progression of the rotation speed of the wheel while driving through a pothole,

Fig. 3 the progression of the rotation speed of the wheel while driving over several cleats,

Fig. 4 the progression of the high-pass filtered speed progression of a wheel due to driving over a cleat,

Fig. 5 a variance progression subject to a high-pass filtered wheel rotation speed and

Fig. 6 a characteristic diagram that depends on speed.

The exemplary embodiment uses inductive readings recorders 4, which are mounted on an axle 1, as wheel sensors 2. The location of the inductive readings recorder 4 on the front axle of a motor vehicle is shown in fig. 1. It consists of a coil with a magnet core inside of it. On the sides of the wheel 3 is a cage wheel 4 with a number of metal teeth that moves past the inductive readings recorder 4 during the rotation of the wheel. This induces voltage in the coil of the inductive readings recorder 4 due to the changing magnetic flux. This voltage changes with the rotation speed of the wheel  $V_{rad}$ . The progression of the rotation speed of the wheel during a pothole 5 in the roadway 6 is illustrated in fig. 2, the surrounding roadway 6 has an even and smooth surface. The progression of the speed  $V_{rad}$  shows high-frequency vibrations with high amplitude while driving through a pothole.

Fig. 3 shows a progression of the rotation speed of the wheel  $V_{rad}$  while driving over several cleats 7a, 7b on the roadway 6, in which four cleats are arranged one after another. The rotation speed of the wheel  $V_{rad}$  shows significantly higher amplitude while driving over the higher cleats 7b.

The sensor signal is high-pass filtered to achieve a greater signal strength of the variations in the rotation speed of the wheel caused by unevenness of the roadway. Furthermore, the part signals, which cause changes in speed via an external intervention, are supposed to be filtered out. An external intervention could come from the driver, for instance, who speeds up or slows down if necessary. The case of an activation of the anti-blocking control (ABS) is not included since a determination of the physical profile of the roadway surface would be inaccurate in this case because of the forced rotational vibration of the wheel. But this case hardly ever happens anyway. The high-pass filtering occurs according to a very simple algorithm. At first, an average value is established from the three values measured last. This average value is then subtracted from the one value measured during the sampling step. The advantage of such a filter is that it is a non-recursive filter with finite pulse response. That is the reason why strong short-term malfunctions only have an impact during the short period of time of time lag of the filter and don't fade away for a long time as would happen with a recursive filter. The variations in speed caused by unevenness of the road can be easily read off the signal progression of the high-pass filtered rotation speed of the wheel  $V_{Filt}$ . A high amplitude can be seen with the high-pass filtered rotation speed of the wheel  $V_{Filt}$  caused by driving over a single cleat 7 (fig. 4).

The variations in the rotation speed of the wheel are analyzed statistically in the exemplary embodiment by an evaluation of the variance. The variance progression  $\sigma^2$  is determined from the difference of the quadratic average value and the average value of the squares of the individual measuring data. It presents the quadratic average value of the alternating part of amplitude  $x$  and is a quadratic measurement for the dispersion of amplitude  $x$  about its average value  $\bar{x}$ . A specific variance progression  $\sigma^2$  subject to the progression of a high-pass filtered rotation speed of the

wheel  $V_{Filt}$  is shown in fig. 5.

To analyze the variances  $\sigma^2$ , the range of values, which the detected variances can reach, can be distributed into classes  $k$ . The exemplary embodiment chose the profile classes  $k0-k9$ . This distribution of classes is done in such a way so that the individual class limits produce a straight line in a logarithmic chart of variance  $\sigma^2$  over the linear scale of the drive speed  $v$ . The resulting characteristic diagram is shown in fig. 6. The class  $k0$  is below the first line and the other classes up to  $k9$  are above, wherein  $k9$  is above the last line. A hysteresis range is arranged around each profile class, over which the actively detected variances must go beyond to activate the next class. This action serves to stabilize the distribution of classes. Otherwise, the measured values, which are close the edge of a class with their variances, would constantly change between the bordering classes. The hysteresis limit is each arranged exactly in the middle between two bordering classes. After new variance values have been detected, a change in the variance  $\sigma^2$  is detected first. If there is a positive change to the variance, the current variance value is compared to the hysteresis limit of the next higher class. Is the variance value greater than this limit, the class value is incremented. If there is a negative change to the variance  $\sigma^2$ , it is compared to the next lower hysteresis limit and the class value is decremented if the result is positive. The values of the hysteresis limits are constantly re-determined subject to the drive speed  $v$ . The current physical profile of the roadway surface is stored as class  $k0-k9$  and can be used for further processing later on.

#### List of reference symbols

1 axle  
2 wheel sensor  
3 wheel  
5 pot hole  
6 roadway  
7a, 7b cleats  
 $V_{rad}$  rotation speed of the wheel  
 $V_{Filt}$  high-pass filtered rotation speed of the wheel  
 $\sigma^2$  variance progression  
 $k0-k9$  profile class

#### Patent Claims

1. Method for the detection of the physical profile of a roadway surface during the movement of a motor vehicle on this roadway surface, wherein at least one of the motor vehicle's wheels is equipped with a wheel sensor to record the parameters of wheel movement, **characterized by** analyzing amplitude variations of the parameters of wheel movement, particularly of the rotation speed of the wheel ( $V_{rad}$ ), as a measurement for the physical profile of the roadway surface (6).
2. Method according to claim 1, characterized by measuring the rotation speed of the wheel ( $V_{rad}$ ) of at least one of the non-driven wheels (3).

3. Method according to claim 1, characterized by analyzing the difference of the rotation speeds of the wheel ( $v_{rad}$ ) between the front axle and the rear axle on at least one side of the vehicle.
4. Method according to one of claims 1 to 3, characterized by subjecting the rotation speed of the wheel ( $v_{rad}$ ) to a high-pass filtering and by detecting the variance progression ( $\sigma^2$ ) from the filtered frequency signal ( $v_{filt}$ ) as a measurement for the vertical profile of the roadway surface (6).
5. Method according to claim 4, characterized by comparing the individual variances of the variance progression ( $\sigma^2$ ) with a stored characteristic diagram, which depends on the driving speed, to determine the physical profile of the roadway surface (6).
6. Method according to claim 5, characterized by distributing the range of values that the individual variances ( $\sigma^2$ ) may reach into classes that characterize a certain physical profile of the roadway surface (6).
7. Method according to one of claims 1 to 6, characterized by indicating the detected physical profile of the roadway surface (6) as a profile class (k0-k9).
8. Method according to one of claims 1 to 6, characterized by feeding the detected instantaneous physical profile of the roadway surface (6) to an automatic speed control in the motor vehicle.
9. Method according to one of claims 1 to 6, characterized by storing the physical profile of the roadway surface (6) and providing it to a navigation system.
10. Method according to one of claims 1 to 6, characterized by feeding the current physical profile of the roadway surface (6) to a chassis control system.

---

4 Drawing(s) are attached.

---